

運用水量計汰換提升售水率研析-以連江縣東引鄉為例

陳美金¹

¹連江縣自來水廠廠長

摘要

馬祖列島主要水源幾乎仰賴當年度降水，然而各島嶼面積狹小，地勢陡峭，逕流延滯時間短暫，無法聚集大量地表逕流，水資源利用極為困難，故至民國 90 年代以後逐步建置海水淡化廠，每單位造水成本約為 70 元左右。針對民生用水，目前雖有二套供水系統，傳統水源受限於天候、地形影響，海水淡化廠確因建置年限達 10 年以上，供水能力逐年衰退，部分設備老舊不堪使用，地區近年觀光產業蓬勃發展，用水量增加，如何穩定供水是未來挑戰之重要課題。

連江縣自來水廠為能更有效管理供水，在開源節流的途徑外，開始重視計量管理的重要性，選定東引鄉 216 戶作為試辦場域，於民國 105 年年初前，將全鄉內傳統 B 級機械式水量計汰換成 C 級電子式水量計，透過靈敏度的提升增加計量準確度的可靠性，冀能得出更精準的計量數據，協助未來供水調配與規劃，提高用戶服務品質，對整體形象有所助益。

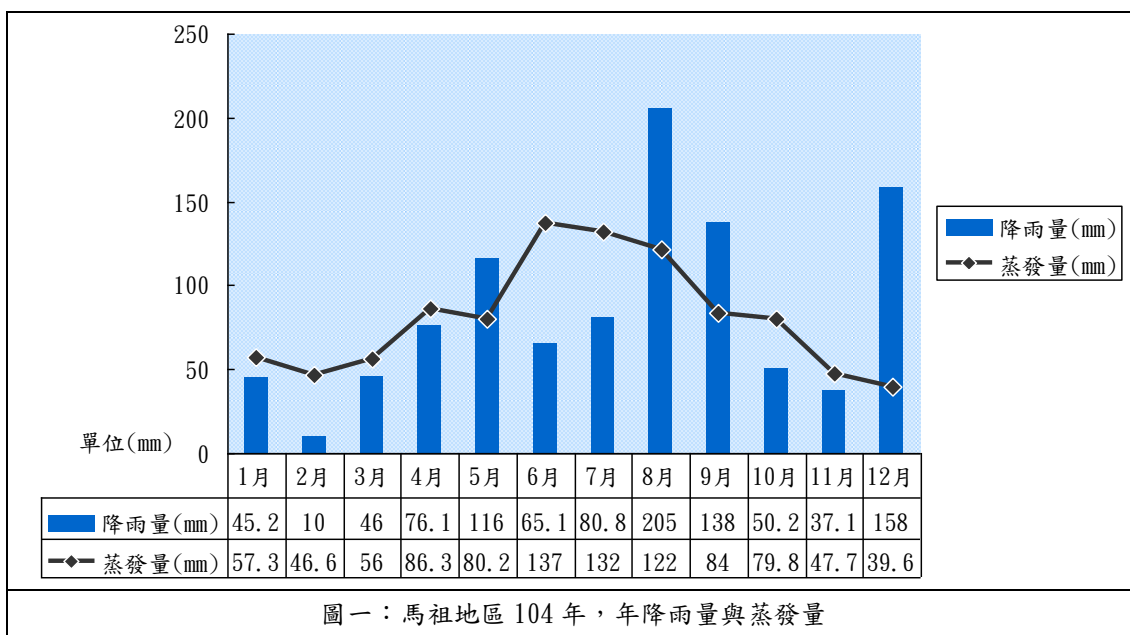
準確計量為水資源管理基礎，C 級電子式水量計的有效運用與汰換為其關鍵，透過抄見率變化可知，其能有效降低水量計不感流量，進而提升售水率。本研究針對東引鄉水量計汰換前後的售水量進行研析，比較民國 104 年度及 105 年度 3、4 月抄表變化，並歸納用戶類別(一般、商業、公共、學校、機關)探究，一般家戶在所有類別中較不易受到外在因素(觀光節慶)改變，然其亦有 16.1% 的成長，尤其在浮球開關效應及微量漏水的偵測，突顯 C 級電子式水量計的成效。未來，亦可透過其數位傳輸的功能，建置完整的雲端管理平台供水系統，成為馬祖綠能島的建置基礎。

關鍵字：售水率改善、C 級電子式水量計、智慧水表

1. 連江縣/東引鄉地區供水型態概述

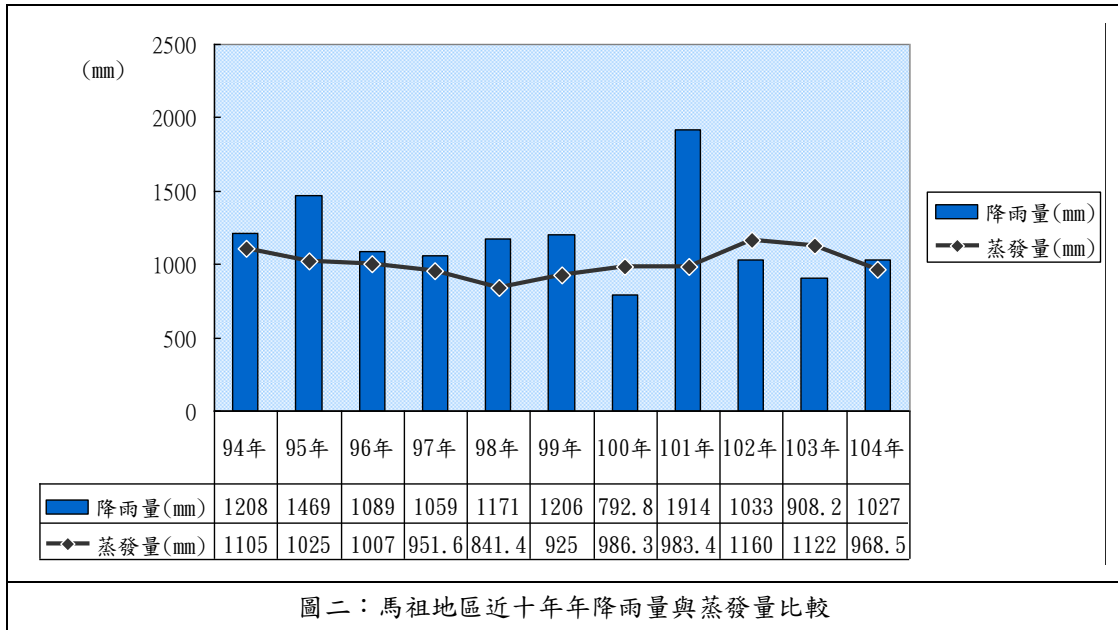
1.1 自然環境—地形與氣候

馬祖列島介於北緯 25 度 55 分至 26 度 44 分，東經 119 度 51 分至 120 度 31 分之間，位於台灣海峽的西北方，正對大陸福建省閩江口，馬祖列島由 35 個島嶼所組成，主要島嶼為南竿、北竿、東莒、西莒、東引、高登、亮島、大坵、小坵、等 9 個島嶼及環繞各島的小礁嶼，總面積約為 29.52 平方公里，其中南竿島 10.4 平方公里最大，最北的空嶼為東引，最南為東莒，南北間距離為 54 海哩，因此馬祖的海域面積相常遼闊，其總面計 6,520 平方公里；轄下可分為四個行政區域：南竿鄉、北竿鄉、東引鄉及莒光鄉，本計畫標地為東引鄉，全鄉包括排引及西引兩個島，彼此以貫穿中柱島之公路相連，全島面積約 4.76 平方公里，距南竿約 61,000 公尺，距北竿約 54,500 公尺，對外交通完全依賴海運與南、北竿連繫，再以海運或空運與台灣相通。氣候上屬亞熱帶海洋氣候，豐枯季分明，無高山可攔截水氣，降雨性質偏向大陸沿海性氣候，年降雨量約僅為台灣的五分之二，雨量多集中於春夏季(3 月-9 月間)。根據中央氣象局年報，104 年總降雨量為 1026.8 毫米，蒸發量為 968.5 毫米，降雨量近於年蒸發量。



資料來源：中央氣象局

圖二為近 10 年馬祖地區的降雨量與蒸發量比較，除了 101 年雨量較為豐沛外，其餘年份降雨量與蒸發量相近，102 年及 103 年蒸發量甚至大於降雨量，換句話說，降到馬祖列島的雨水幾乎都已在該年度蒸發，無法蓄留於下一年度使用，水資源賦存量近乎為零。



圖二：馬祖地區近十年年降雨量與蒸發量比較

資料來源：中央氣象局

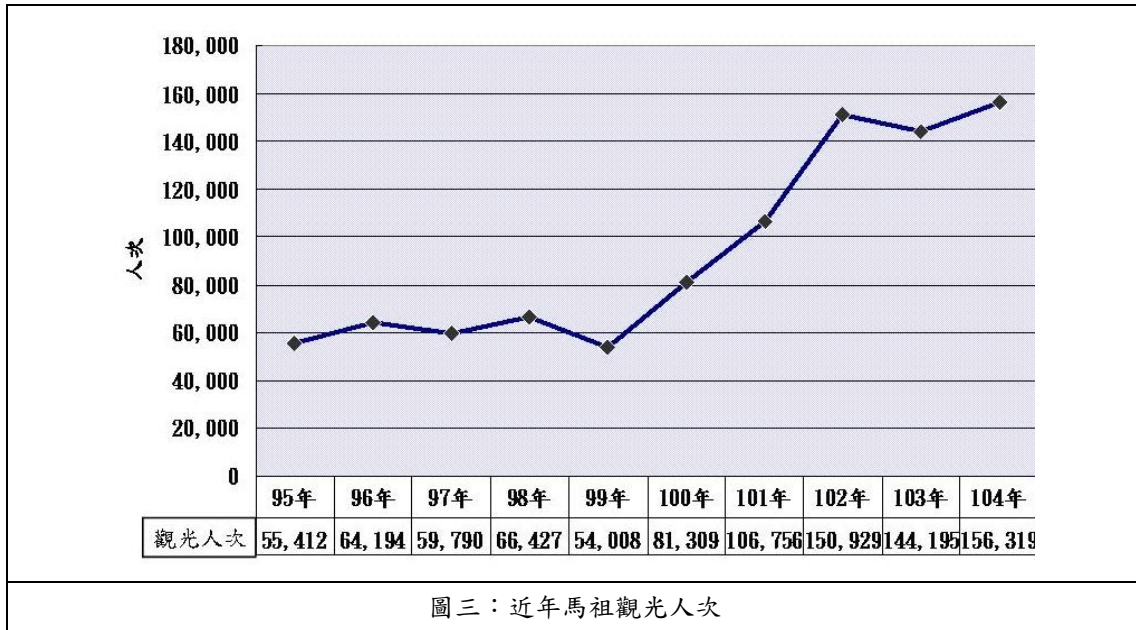
1.2 人口發展

馬祖列島五個行政區域共 2,582 戶，12,523 人，本研究的目標東引鄉則為 1,266 人，近五年呈現平緩成長，變化不大。

	101 年 12 月	102 年 12 月	103 年 12 月	104 年 12 月	105 年 2 月
馬祖列島	11,310	12,165	12,506	11,291	12,523
東引鄉	1,132	1,171	1,266	1,270	1,266

資料來源：連江縣政府

馬祖地區過去受限於軍事國防的防衛需求，觀光人數低，但近年積極拓展觀光建設，行銷馬祖人文風光，以多樣性的自然景觀吸引國內外旅客，致使觀光產業蓬勃發展，尤其以藍眼淚的自然生態更是聞名，近十年來，觀光人次整體成長三倍，交通部觀光局馬祖國家風景區管理處更於 103 年時定位為「馬祖國際觀光元年」，推廣一系列的優惠旅遊遊程與措施。



資料來源：觀光局

若僅針對本研究比較期間進行探究，因 105 年北竿遊客中心整修，整體資料略微下滑，但東引鄉的觀光人次依然有 24.76% 的成長。

	馬祖列島	東引鄉	
104 年 3-4 月	20,042	1,611	104 年 3-4 月
105 年 3-4 月	15,344*	2,010	105 年 3-4 月

*105 年 3-4 月北竿遊客中心整修，故無相關數據

資料來源：觀光局

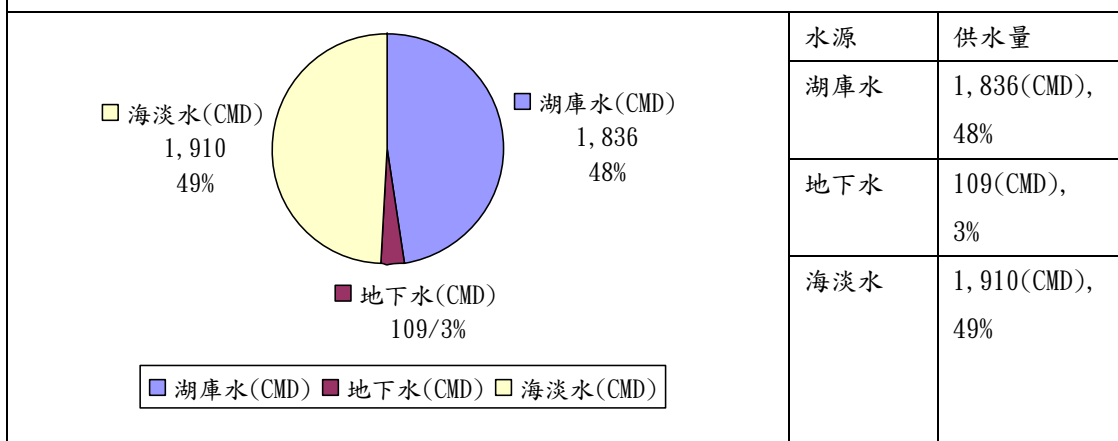
1.2 水資源使用概況

1.2.1 水源狀況

早期水資源開發以興建小型水庫為主，近年水庫淤積或水質優氧化影響，導致蓄水設施的容量已無法有效利用，大旱缺水時曾由台灣本島運水支援，然運水成本高，實不符合經濟效益，已興建海水淡化廠作為民生用水使用。

在自來水系統上，屬連江縣自來水廠管轄，馬祖五島皆有完整的淨水場及供水措施，可分為北竿、南竿、東莒、西莒與東引五大供水系統，供水普及率 99.8%，104 年總供水量達 1,234,216 噸。馬祖地區主要水源來自於海水淡化及湖庫水，所佔比例約各為一半。

表四：馬祖地區 102 年供水系統水源狀況



資料來源：馬祖地區水資源整體規劃檢討報告(103)

本次研究標的東引鄉的供水系統水源狀況如表五，由於東引地區無地下水使用，故項目僅列湖庫水與海淡水，其使用比例各為一半。

表五：東引鄉近年供水系統水源狀況

	湖庫水(CMD)	比例(%)	海淡水(CMD)	比例(%)	總合(CMD)
95 年	486	55.7%	386	44.3%	872
96 年	584	61.7%	362	38.3%	946
97 年	514	56.8%	392	43.2%	906
98 年	617	62%	379	38%	996
99 年	663	64.4%	366	35.6%	1029
100 年	302	35%	560	65%	862
101 年	475	54.1%	403	45.9%	878
102 年	546	58.5%	388	41.5%	934
103 年	473	50.8%	458	49.2%	931

1.2.2 湖庫水

馬祖地區的水庫礙於地形因素，其最初設計的蓄水量不高，近年可容納水量又受淤泥淤積影響而下降。水質部分，國內水庫水質以優氧化狀況為基準，以卡爾森指數(Carlson trophic state index, CTSI)計算：若指數小於 40 為貧養狀態，指數介於 40~50 為普養，大於 50 則為優養。因該地水庫位置鄰近人口稠密區，農林汙水容易流進水庫污染水質，優氧化問題嚴重。

東引鄉自來水系統列屬東引營運所，其下轄東湧淨水廠，主要由東湧水庫作為原水來源，有效蓄水容量為 8.5 萬立方公尺，供水區域面積約 1.5 平方公里，每日平均出水量約為 485 立方公尺，每月平均水費收入 526,252 元。水質依據環保署監測資料，東湧水庫呈現優氧化情況，影響水庫水質，為飲用水品質的隱憂。

年份	95年	96年	97年	98年	99年
卡爾森指數	60.6	62.1	59.4	58.3	61.7
年份	100年	101年	102年	103年	104年
卡爾森指數	61.8	61.9	65	68	63

資料來源：行政院環保署

1.2.3 海水淡化

馬祖地區已興建五座海水淡化廠，東引鄉主要由東引海水淡化廠支援供水。除了南竿三期海水淡化廠採取促參方式辦理外(BOT, 許可年限 20 年)，其餘四座海水淡化廠皆由連江縣政府委託操作廠商辦理操作及營運維護。海水淡化廠運作至今，除了南竿三期海水淡化廠，其餘使用已達 11-15 年，供水能力逐漸衰退，其原因如下：

(1) 環境因素

除了使用年限影響外，海水取水井也會因海邊風浪侵蝕而毀損。另外，在溫度方面，因海水淡化廠多採用逆滲透方式淡化，若海水溫度低於基準溫度 1 度，會使得產水量減少 2~3%，由於馬祖冬季氣溫平均低溫為 8 度，與海淡機組原設計基準溫度 25 度有所偏差，產水量減少 50% 左右都屬正常。

(2) 初期設計不周

逆滲透淡化技術中的薄膜操作需適時保養才可發揮效用，當整體流通量降低 10~15% 時，需進行化學清洗(CIP, Clean in Place)以恢復造水能力，為確保供水不會中斷，影響用戶權益，需要隨時保持另一套備載系統(Spare Unit)停機待命。然而早期運作的海水淡化廠並未將其列入考量，造成營運效能不佳，設備易損壞，影響整體供水能力與使用年限。

(3) 人為操作因素

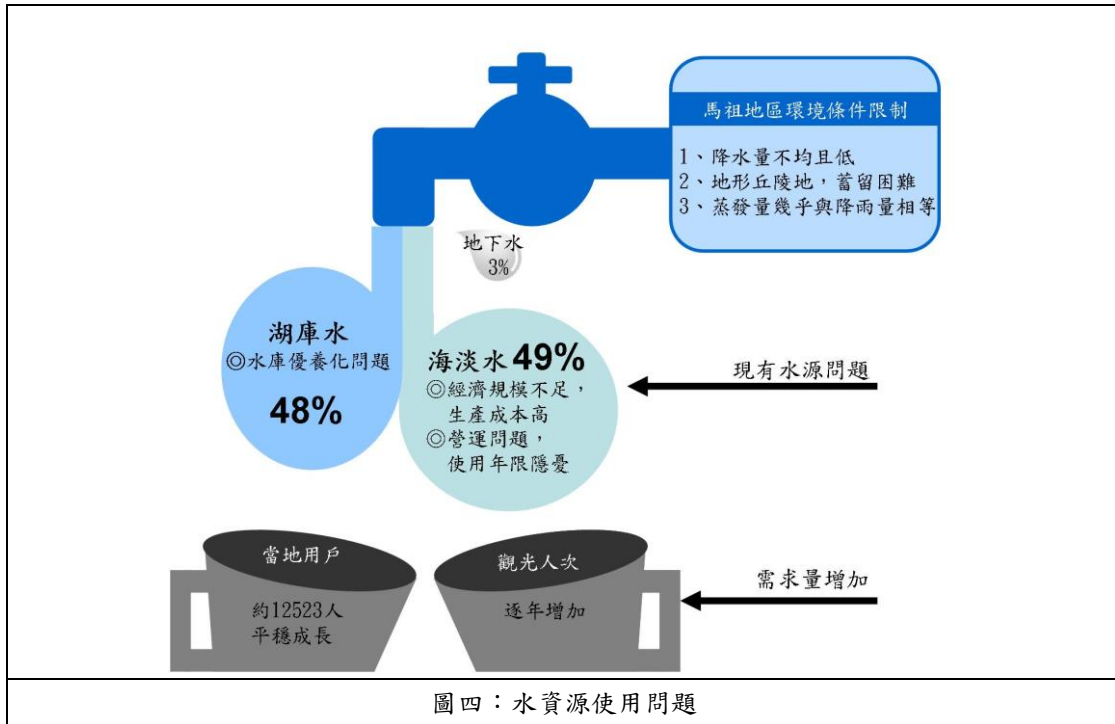
海水淡化廠多委託民間廠商代為操作，然早期合約缺乏彈性，且系統設計不良，加上代為操作廠商的專業性不足，至使得海水淡化廠無法有效營運。

廠名	淡化水設計產量 (噸/日)	用水 標的	淡化 技術	完工 時間	投資金額 (億元)
南竿(一期)海水淡化廠	600	民生 用水	RO 逆滲 透	90.12	0.69
南竿(二期)海水淡化廠				93.06	0.56
南竿(三期)海水淡化廠	950			99.09	4.84
北竿海水淡化廠	250			92.09	1.02
東引海水淡化廠	600			92.07	1.20
西莒海水淡化廠	250			94.04	1.05

1.3 小結：水資源使用問題

綜上所述，馬祖地區的水資源利用有以下特徵：

- (1)因先天氣候環境影響，降雨量近於蒸發量，湖庫水的蓄存量仰賴當年降水。
- (2)地下水使用比例低，水源仰賴降水與海水淡化，其比例各占一半。
- (3)水庫水長期受到優氧化問題影響。海淡水部分則因供水量則因不達經濟規模，造水成本相對昂貴，且供水量受限於營運操作、使用年限等問題。
- (4)近年觀光產業起飛，觀光客增加，且當地人口平緩成長，預期需水量將持續增加。



馬祖地區每滴水的成本比起台灣本島更為昂貴，在使用上，更應以嚴謹且節流管理方式，改善供水網絡，並積極協助民眾節約用水。鑒於售水率為營運收入的關鍵，在需求量可預期增加的情況下，若能透過量化的管理方式，將水資源用量可視化，冀能降低浪費，活化水資源利用程度。本研究透過水量計的汰換，開始區域性全面採用C級電子式水量計，以精準的計量數據為中心，從改善售水率開始，降低不感流量，進一步達到漏水防治的效果，利於掌握區域內用水數據協助後續統計分析管理。未來，更可以電子式水量計為基礎，引進系統遠端監測，作為未來馬祖列島智慧水管理的基礎。

2. C級電子式水量計

2.1 電子式水量計與機械式水量計比較

本次研究地點東引鄉原先所採用的皆為機械式水量計，其計量原理乃藉由齒輪機械運作，若

水量不穩定或長時間使用，可能產生機械元件疲勞，加速內部傳動機件的磨損(林進其，2010)；電子式水量計則是透過電子元件感測計量，得維持穩定的精準度，且大幅提升量測範圍，另，電子式水量計支援數位編碼輸出，可進行遠端抄表、資料傳輸功能，協助管理者進行線上監測、用戶用水模式分析等，又可稱為智慧水表。

	本次更換採用的電子式水量計	原先使用的機械式水量計
計量原理	電子元件感測，降低不感流量。	需由齒輪帶動產生計量，容易產生磨耗。
計量等級	C 級。	B 級。
故障比率	因無齒輪磨耗問題，且為乾式計量結構，積算器不受異物阻塞影響，故障率明顯較低。	用水量過大容易加速齒輪磨耗，降低密合度，除了產生計量誤差，亦提高故障比例。另，若是採用濕式計量結構，齒輪容易受雜物阻塞。
故障判別效率	高效率：立即於 LCD 電子顯示螢幕顯示警訊，可即時判斷，降低水資源損耗。	低效率：當抄表作業人員察覺計量異常(遲緩、不計量)時，異常狀況通常已潛伏一段時間(數十天或兩個月以上)，造成水資源浪費，並引發民怨。
耐用程度	長期使用，仍可維持計量精確度。	因機構設計，齒輪容易產生磨耗，計量會因使用時間降低準確度。
附加功能	<ol style="list-style-type: none"> 1. 協助用戶偵測內部管線漏水。 2. 支援數位編碼信號輸出，可連接各式傳訊儀器，將電子式水量計資訊上傳至即時系統中，管理者可於系統查看用戶用量資訊，進行用水模式分析。 3. 具備多元管理功能：漏水偵測、逆流警示、日積算累積流量紀錄功能(八日流量紀錄)、每月定期流量紀錄功能，實現統一抄表的效果。 4. 可支援未來智慧水網建構之加值服務 	無。

2.2 電子式水量計與機械式水量計技術性能

依據國家標準 CNS 14866 規範，水量計以四個流量點作為度量能力的判斷依據，分別為最小流量(q_m)、分界流量(q_t)、常設流量(q_b)與超載流量(q_s)，並依此分為五個流量區域，其中，最小流量至分界流量稱為下區，其計量誤差應小於(含等於)正負 5%，分界流量至超載流量則為上區，其計量誤差應小於(含等於)正負 2%，若超過最小流量與超載流量的流量範圍皆為無效流量。

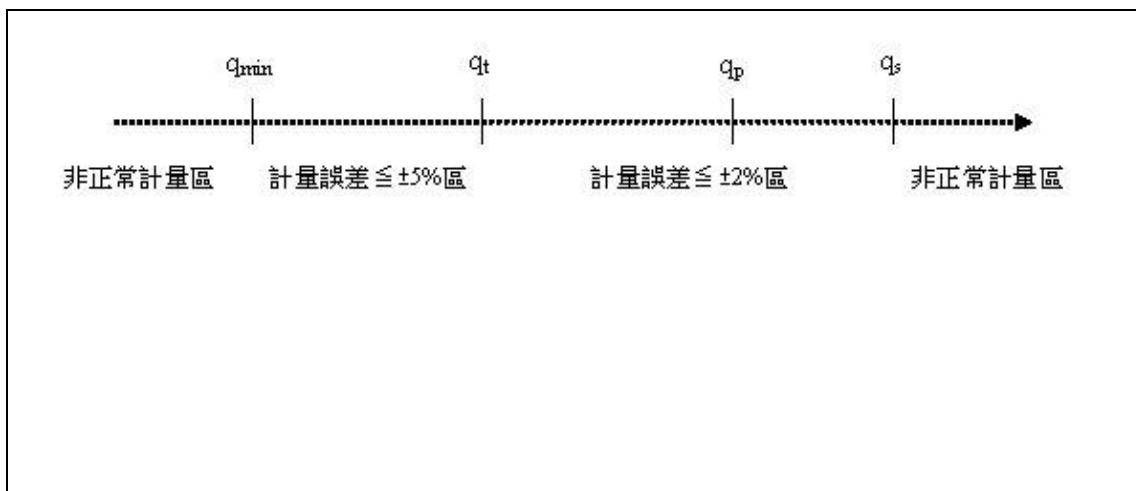
度量能力主要針對最小流量與分界流量的量測能力進行判斷，以此區分為 A、B、C、D 四個

等級，D級水量計度量程度最廣，反之，A級度量程度最低，目前國際先進國家在小口徑水量計上已採用C級度量等級水量計，對於用戶小流量進水、管線閥件漏水皆可準確計量，避免水費短收。東引鄉原本採用的機械式水量計為B級計量等級，所要汰換成的電子式水量計則是為C級計量等級，冀能偵測微小流量，降低不感流量。

等級	水量計界定 N	
	N<15	N≥15
A 級 q_{min}	0.04N	0.08N
q_t	0.10N	0.30N
B 級 q_{min}	0.02N	0.03N
q_t	0.08N	0.20N
C 級 q_{min}	0.01N	0.006N
q_t	0.015N	0.015N
D 級 q_{min}	0.0075N	—
q_t	0.0115N	—

圖五：水量計依據每小時之立方公尺的最小流量(q_m)及分界流量(q_t)

資料來源：水量計型式認證規範



圖六：水量計流量變化計量狀態示意圖

3. 研究方法

本研究採用實證分析研究法，選定東引鄉全鄉作為試辦地點，將東引地區用戶使用的傳統B級水量計全面汰換成C級電子式水量計，藉由實務抄表進行抄見率統計分析，進而歸納售水率的變化趨勢。東引鄉換表時間從104年4月開始陸續著手汰換，105年1月全面汰換完畢。有效用戶總數為216戶，其用戶類別如下：

類別	數量	比例	類別介紹
學校	2	0.9%	國中小、幼稚園
機關	6	2.7%	郵局、鄉代會、中華電信
公共	11	5.1%	活動中心、公廁、圖書館、衛生所、廟宇、市場、公墓
商業	52	25.0%	旅宿、餐飲、便利商店、理髮、洗衣
一般	145	67.1%	一般家戶
總計	216	100%	

東引鄉用戶所使用的水量計口徑皆為 20 公厘，其水量計度量等級 B 級與 C 級計量範圍如表十。可從表十得知，C 級不感流量較 B 級小，微小流量的量測範圍更大，更可準確計量。

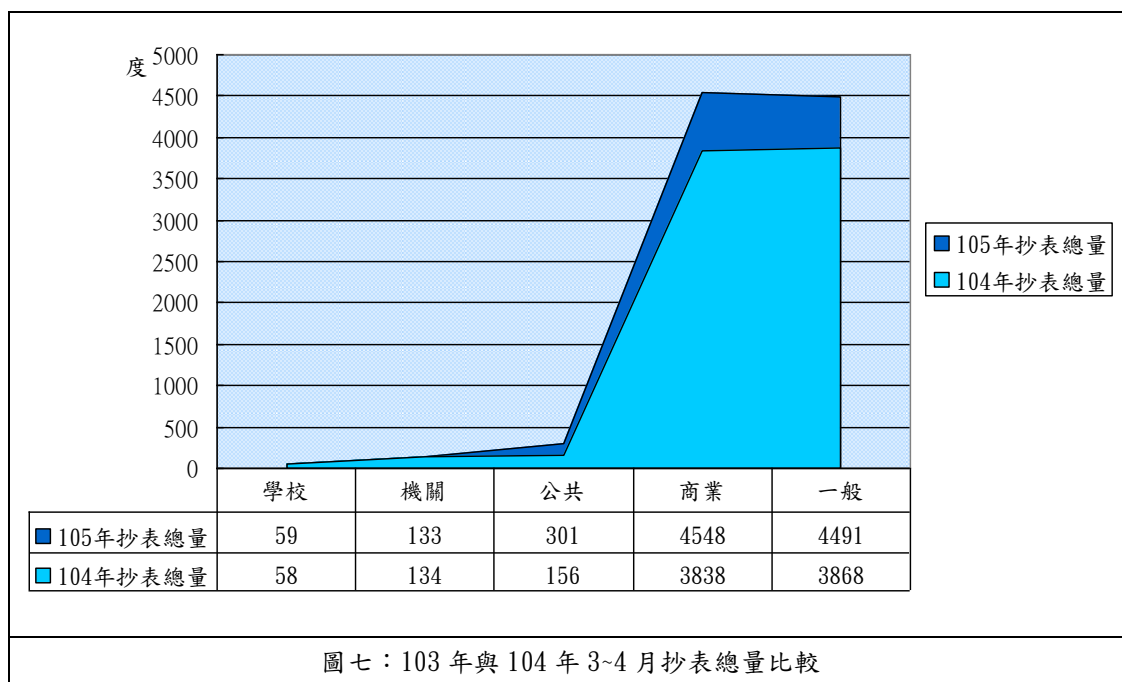
	B 級水量計量測範圍	C 級水量計量測範圍
流量範圍(m ³ /h)	0.03~3	0.015~3

資料來源：水量計型式認證規範

為避免節慶用水影響，以 104 年 3、4 月為基期，與 105 年 3、4 月的抄表數據作為比較，並分用戶類別進行統計。藉由水量計等級的汰換，推估其對於售水率的變化，更能了解其對於供水管網的效益與應用。

4. 研究結果

依據兩期抄表度數資料，104 年 3、4 月抄表總度數為 8054 度，105 年抄表總度數則為 9532 度，整體提升 18.5% 的抄表量，顯示抄見率有所提升，售水率亦隨其增加，按照類別分類比較(如圖五)，在公共、商業與一般類別(即個人用戶)的增加量較為明顯，公共類別提高 92%，商業類別提高 18.49%，一般類別則提高 16.1%。其中公共類別售水率提高乃是因為舊衛生所有發現漏水的情形，故此類別僅先排除於研究討論中。引此，針對商業類別與一般類別之研究結果深入探討。



此售水率增加原因有二：第一，為觀光效應而帶動用戶用水量需求提升；第二，C級電子式水量計之計量效益而提升售水率，下列分點敘述。

(1) 需求人口增加

東引鄉位在東引列島，相較於台灣本島，其對外交通機動性較低，需仰靠飛機與船班往返，人口數的變化因素較為單純，僅討論常住人口與觀光人口。

常住人口根據表一人口變化表可知，103年12月人口1266人，104年12月人口為1270人，105年2月為1266人，變化幅度僅為四人，因此不列入考量。然而，外地觀光人數卻有顯著成長(如表二)，104年3、4月觀光人次為1611，105年則成長24.76%，估計約為2010人次。

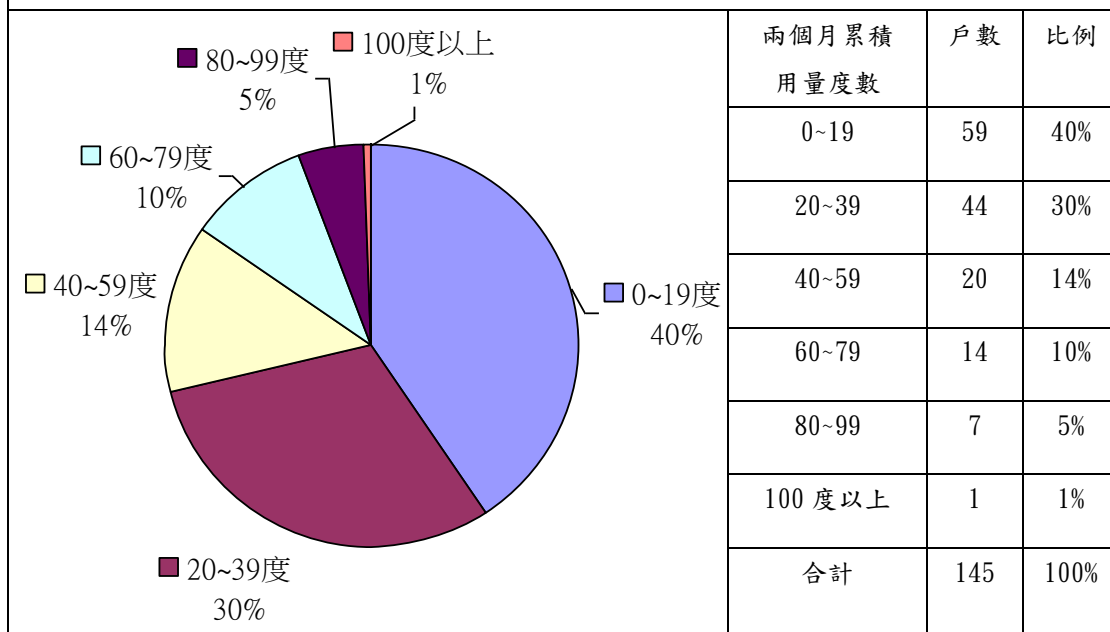
觀光人數的增加，主要影響公共、商業類別的用水量，如民宿、餐廳等，使用水量增加故而提高售水量，因此，若論該類別的售水量提升是係因於水量計汰換之成效，將有結論偏頗之疑慮，故將著重探討個別用戶數據。

(2) C級電子式水量計的計量成效

一般類別為一般家戶，家戶人口數變動低，且較不受觀光人口影響。

該類別共145戶，家戶每戶人口為4.03人(內政部，2016)，平均1個月用量度數為15.48度，依用量分類如表十一，可得出家戶用量以小流量為主，七成落在40度以下，微小流量占整體多數，因此亦可建議用戶改使用15(13)mm口徑之水量計，更可準確計量發揮效益，並再提高售水率。

表十一：一般類別用量分類(依 105 年 3-4 月用量度數)



電子式水表其優點在於可於低流量時準確計量，具備較高計量能力，透過本期調查，在用戶用水型態變化機率較低時，確實提升 16.1% 的抄表數據，效果顯著。

本次研究僅針對 3、4 月的流量紀錄，若以長期觀察期汰換效益，預計可獲得下列回饋：

- ① 電子式水量計具備智慧功能，單只水表便可偵測漏水、發現逆流，並查詢特定時段、日、週、月的用量紀錄，進行水平衡分析，有利於智慧水網的建置。
- ② 應用於分區計量(DMA)的建置，減少無收益水費。電子式水量計可提供漏水資料分析，解決表觀漏損問題，降低用戶水表誤差(水表器差、不感流量、故障問題、磨損誤差)，並透過每月定期記錄(每月 1 日凌晨同步紀錄表值)、每日特定時段用量紀錄(如固定計算凌晨 2 點至 5 點)及最近八日每日流量紀錄，協助管理者了解分區內實際用水量，進而計算真實售水率，並取得統一抄表數據，進行夜間最小流分析，作為漏水率計算的基準。
- ③ 透過用戶用水模式，依用量大小、用水時間進行分析，了解用戶口徑選用是否合宜。
- ④ 未來可作為遠端監測系統的建置基礎，配合智慧水網的鋪設，異常狀況及時發現，使供水管網更適宜調配，達到供需平衡，提高用戶滿意度與企業整體形象。

5. 結論

水資源管理已從過去的經驗管理，逐漸走向科技化的方式進行，透過量化數據進行管理改善，降低不感流量。馬祖列島降雨量不足，且水資源開發不易，深感水資源的重要性，對於其應用與管理不敢怠慢，長期以來，積極掌握管網中漏水狀況並逐步改善，105 年截至七月為止售水率為 91.15%，希望可透過導入科技化工具完成下一階段的節水目標。

本次便針對馬祖東引鄉進行探究，該地區用水獨立，且人口變動低，將全區用戶水量計進行汰換，改採用 C 級電子式水量計，並以 3、4 月為觀察時段，取其與去年用量比較，發現整體抄

見量提升 18.5%。考量觀光人口的變動，以一般類別(一般家戶)的抄表數變化進行觀察，其亦有 16.1%的成長，顯示電子式水量計確實有助於售水率的提升。

水，對於馬祖列島的重要性不言而喻，長期以來，馬祖地區總是陷入經費缺乏的窘境，然而在資源有限的情況下默默耕耘，為馬祖地區的用戶提升供水品質，並逐步結合新型態的水資源科技，一步一腳印地改善供水管理模式，活化水資源利用，有效掌握漏水狀況。現以電子式水量計作為基底，未來更可建置遠端管理平台，建構完善的智慧水網監測系統，打造馬祖智慧綠能島的遠景。整合分析水量數據，透過系統化的方式管理用水，即時掌握區域內用水狀況，並了解用戶用水模式，觀察是否有異常用水狀況、水量計口徑選用不當問題，減緩用水緊張狀況，更適宜調配水資源。

參考資料

1. 林清鑫、林政君，智慧電子 C 級水表管理應用及效益研究，自來水會刊第 33 卷第 3 期，2014 年
2. 陳美金，馬祖地區水資源挑戰與對策，水資源管理會刊第 14 卷第 2 期，2012 年
3. 楊崇明、蘇政賢、陳宗霆、林子程，C 級電子式水量計經濟效益評估研究，2010 年
4. 馬祖地區水資源整體規劃檢討(1)，經濟部水利署水利規劃試驗所，2014 年 12 月
5. 提升水量計功能強化用水管理之育成計畫，經濟部水利署，2012 年 12 月
6. 連江縣馬祖測站氣候年報表，中央氣象局
<http://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/index.jsp>
7. 水利統計，經濟部水利署，2014 年
<https://www.wra.gov.tw/lp.asp?CtNode=5385&CtUnit=874&BaseDSD=4>
8. 連江縣政府各鄉村人口數，http://w3.matsu.gov.tw/2008web/laws_index.php?id=6
9. 觀光局行政資訊系統，<http://admin.taiwan.net.tw/>
10. 水量計型式認證規範，經濟部標準檢驗局